

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-372974

(43)Date of publication of application : 26.12.2002

(51)Int.Cl.

G10K 11/04  
H01L 41/08  
H01L 41/18  
H01L 41/22  
H03H 3/02  
H03H 9/17

(21)Application number : 2001-182197

(71)Applicant : UBE ELECTRONICS LTD

(22)Date of filing : 15.06.2001

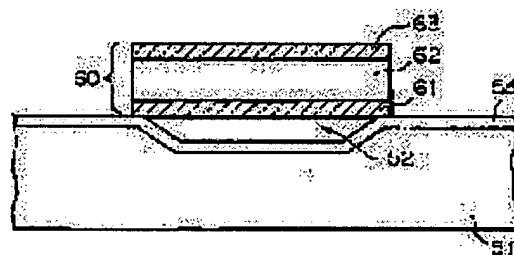
(72)Inventor : YAMADA TETSUO  
HASHIMOTO TOMONORI  
NAGAO KEIGO

(54) THIN-FILM ACOUSTIC RESONATOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a thin-film acoustic resonator of high performance which is excellent in electro-mechanical coupling coefficient, acoustic quality coefficient, etc.

**SOLUTION:** A recess 52 is formed on a substrate with a thin silicon oxide layer 53 formed on the surface of a silicon wafer 51 and a sandwiching structure 60 consisting of a piezoelectric substance layer 62 and a lower electrode 61 and upper electrode 63 joined to both surfaces thereof is arranged across the recess 52. The top surface of the lower electrode 61 and the under surface of the piezoelectric substance layer 62 joined thereto are  $\leq 2.0$  nm in the fluctuation in the RMS of the height. The thickness of the lower electrode 61 is  $\leq 150$  nm.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-372974

(P 2002-372974A)

(43) 公開日 平成14年12月26日 (2002. 12. 26)

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 1 0 K	11/04	G 1 0 K 11/04	5J108
H 0 1 L	41/08	H 0 3 H 3/02	B
	41/18	9/17	F
	41/22	H 0 1 L 41/08	D
H 0 3 H	3/02	41/22	Z
審査請求 未請求 請求項の数 14 O L		(全 11 頁)	最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-182197 (P2001-182197)

(22) 出願日 平成13年6月15日 (2001. 6. 15)

(71) 出願人 397047279

宇部エレクトロニクス株式会社

山口県美祢市大嶺町奥分字麦川2023番地2

(72) 発明者 山田 哲夫

山口県宇部市大字小串1978番地の5 宇部

興産株式会社宇部研究所内

(72) 発明者 橋本 智仙

山口県宇部市大字小串1978番地の5 宇部

興産株式会社宇部研究所内

(74) 代理人 100065385

弁理士 山下 穰平

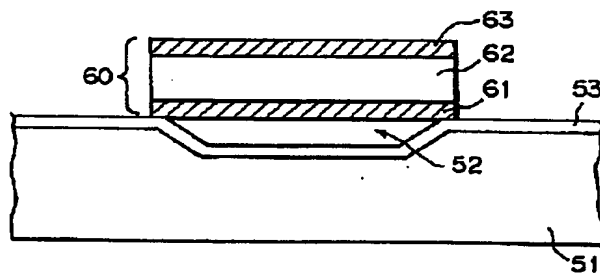
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜音響共振器及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 電気機械結合係数及び音響品質係数などに優れた高性能の薄膜音響共振器を提供する。

【解決手段】 シリコンウェーハ 51 の表面に酸化シリコン薄層 53 の形成された基板に、窪み 52 が形成されている。窪み 52 をまたぐように、圧電体層 62 とその両面に接合された下方電極 61 及び上方電極 63 とからなる挟み込み構造体 60 が配置されている。下方電極 61 の上面及びこれと接合されている圧電体層 62 の下面は、高さの RMS 変動が 2.0 nm 以下である。下方電極 61 の厚さは 150 nm 以下である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧電体層と、該圧電体層の第 1 の表面に接合された第 1 の電極と、前記圧電体層の前記第 1 の表面と反対側の第 2 の表面に接合された第 2 の電極とを有しており、前記圧電体層の第 1 の表面は高さの RMS 変動が 2.0 nm 以下であることを特徴とする薄膜音響共振器。

【請求項 2】 圧電体層と、該圧電体層の第 1 の表面に接合された第 1 の電極と、前記圧電体層の前記第 1 の表面と反対側の第 2 の表面に接合された第 2 の電極とを有しており、前記第 1 の電極の前記圧電体層の側の表面は高さの RMS 変動が 2.0 nm 以下であることを特徴とする薄膜音響共振器。

【請求項 3】 前記圧電体層の前記第 2 の表面は高さの RMS 変動が前記圧電体層の厚さの 0.50 % 以下であることを特徴とする、請求項 1～2 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 4】 前記第 2 の電極は中央部と該中央部より厚い外周部とを有することを特徴とする、請求項 1～3 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 5】 前記第 2 の電極の中央部の表面のうねり高さは前記圧電体層の厚さの 5.0 % 以下であることを特徴とする、請求項 4 に記載の薄膜音響共振器。

【請求項 6】 前記外周部は前記中央部の周囲に枠状に位置することを特徴とする、請求項 4～5 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 7】 前記第 2 の電極は前記中央部の厚さ変動が該中央部の厚さの 2 % 以下であることを特徴とする、請求項 4～6 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 8】 前記外周部の厚さは前記中央部の高さの 1.1 倍以上であることを特徴とする、請求項 4～7 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 9】 前記外周部は前記第 2 の電極の外縁から 40  $\mu$ m までの距離の範囲内に位置することを特徴とする、請求項 4～8 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 10】 前記圧電体層と前記第 1 の電極と前記第 2 の電極とからなる挟み込み構造体は、基板の表面に形成された窪みをまたぐように前記基板により縁部が支持されていることを特徴とする、請求項 1～9 のいずれかに記載の薄膜音響共振器。

【請求項 11】 前記基板の表面上には、前記窪みをまたぐように形成された絶縁体層が配置されており、該絶縁体層上に前記挟み込み構造体が形成されていることを特徴とする、請求項 10 に記載の薄膜音響共振器。

【請求項 12】 圧電体層と、該圧電体層の第 1 の表面に接合された第 1 の電極と、前記圧電体層の前記第 1 の表面と反対側の第 2 の表面に接合された第 2 の電極とを有する薄膜音響共振器を製造する方法であって、基板の表面に窪みを形成し、該窪み内に犠牲層を充填し、該犠牲層の表面を高さの RMS 変動が 1.0 nm 以

下となるように研磨し、前記犠牲層の表面の一部の領域と前記基板の表面の一部の領域とにわたってそれらの上に前記第 1 の電極を形成し、該第 1 の電極上に前記圧電体層を形成し、該圧電体層上に前記第 2 の電極を形成し、前記窪み内から前記犠牲層をエッチング除去することを特徴とする、薄膜音響共振器の製造方法。

【請求項 13】 前記第 1 の電極を厚さ 150 nm 以下に形成し、該第 1 の電極の上面を高さの RMS 変動が 2.0 nm 以下となるようにすることを特徴とする、請求項 12 に記載の薄膜音響共振器の製造方法。

【請求項 14】 前記犠牲層の上に前記第 1 の電極を形成するに先立って絶縁体層を形成することを特徴とする、請求項 12～13 のいずれかに記載の薄膜音響共振器の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、圧電体薄膜の電気音響効果を利用した薄膜音響共振器に関するものである。薄膜音響共振器は、通信機用フィルタの構成要素として利用することができる。

## 【0002】

【従来の技術】電子機器のコストおよび寸法を減らす必要性から、その回路構成要素としてのフィルタの寸法を小さくする努力が絶えず続いている。セル式電話およびミニチュア・ラジオのような民生用電子機器には、それに内蔵されている構成要素の大きさおよびコストの双方に厳しい制限が加えられている。このような多数の電子機器は、精密な周波数に同調させなければならないフィルタを利用している。したがって、廉価でコンパクトなフィルタを提供する努力が続けられている。

【0003】これらの低価格及び小型化の要求を満たす可能性のあるフィルタとして、音響共振器を用いて構成されているものが挙げられる。音響共振器は、薄膜圧電体 (PZ) 材料内のバルク弾性音響波を利用している。音響共振器の一つの簡単な構成では、薄膜 PZ 材料の層が二つの金属電極の間に挟み込まれた挟み込み構造を形成している。この挟み込み構造は、周囲を支持することにより中央部が空中に吊された橋架け構造により支持される。二つの電極の間に印加される電圧により電界が発生すると、PZ 材料は、電気エネルギーの幾らかを音波の形の機械エネルギーに変換する。音波は、電界と同じ方向に伝播し、電極/空気境界面で反射する。

【0004】機械的に共振している時、音響共振器は電気共振器として機能し、したがって、これを用いてフィルタを構成することができる。音響共振器の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。音波の周波数は、電極に印加される電気信号の周波数に等しい。音波の速度は光の速度より 5～6 桁小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz 帯の用途のための共

振器を、直径200ミクロン未満で厚さ数ミクロン未満の寸法で構成することができる。

【0005】以上のような薄膜バルク音響共振器 (Thin Film Bulk Acoustic Resonators: 以下FBARという)、及び上記挟み込み構造を積層した形態の積層薄膜バルク音響共振器およびフィルタ (Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonators and Filters: 以下SBARという) において、挟み込み構造の中心部はスパッタ法により作製された厚さ約1~2ミクロン程度の圧電体薄膜である。上方および下方の電極は、電気リードとして働き圧電体薄膜を挟み込んで圧電体薄膜を貫く電界を与える。圧電体薄膜は、電界エネルギーの一部を力学エネルギーに変換する。時間変化する印加電界エネルギーに応答して、時間変化する「応力/歪み」エネルギーが形成される。

【0006】FBARまたはSBARを音響共振器として動作させるには、圧電体薄膜を含む挟み込み構造を橋架け構造により支持して、音波を挟み込み構造内に閉じ込めるための空気/結晶境界面を形成しなければならない。挟み込み構造は、通常、基板表面上に下方電極、PZ層、および次に上方電極を堆積させることにより作られる。したがって、挟み込み構造の上側には、空気/結晶境界面が既に存在している。挟み込み構造の下側にも空気/結晶境界面を設けなければならない。この挟み込み構造の下側の空気/結晶境界面を得るのに、従来、以下に示すような幾つかの方法が用いられている。

【0007】第1の方法は、例えば特開昭58-153412号公報に記載のように、基板を形成しているウェーハのエッチング除去を利用している。基板がシリコンからなるものであれば、加熱KOH水溶液を使用してシリコン基板の一部を裏側からエッチングして取り去って孔を形成する。これにより、挟み込み構造の縁をシリコン基板の孔の周囲の部分で支持した形態を有する共振器が得られる。しかし、このようなウェーハを貫いて開けられた孔は、ウェーハを非常に繊細にし、且つ、非常に破壊しやすくする。更に、基板表面に対して54.7度のエッチング傾斜でKOHを用いた湿式エッチングを行うと、最終製品の取得量、即ちウェーハ上のFBAR/SBARの歩留まりの向上が困難である。たとえば、250μm厚さのシリコンウェーハ上に形成される約150μm×150μmの横寸法を有する挟み込み構造は、約450μm×450μmの寸法の裏側エッチング開口を必要とする。したがって、ウェーハの約1/9を生産に利用できるだけである。

【0008】挟み込み構造の下に空気/結晶境界面を設ける従来の第2の方法は、例えば特開平2-13109号公報に記載のように、空気ブリッジ式FBAR素子を作ることである。通常、最初に犠牲層 (Sacrificial layer) を設置し、次に犠牲層の上に挟

み込み構造を作製する。プロセスの終わりまたは終わり近くに、犠牲層を除去する。処理はすべてウェーハの前面側で行われるから、この方法は、ウェーハ両面側の位置合わせも大きい面積の裏側開口も必要としない。

【0009】特開2000-69594号公報には、犠牲層として燐酸石英ガラス (PSG) を使用した空気ブリッジ式FBAR/SBAR素子の構成と製造方法が記載されている。同公報においては、PSG層がシリコンウェーハ上に堆積されている。PSGは、シランおよびホスフィン (PH<sub>3</sub>) を使用して約450℃までの温度で堆積され、燐含有量約8%である軟ガラス様物質を形成する。PSGは、比較的低温で堆積させることができ、且つ、希釈H<sub>2</sub>O:HF溶液で非常に高いエッチング速度でエッチングされる。

【0010】しかしながら、同公報においては、PSG犠牲層の高さのRMS (2乗平均平方根) 変動が0.5μm未満と記載されているものの、具体的には0.1μmより小さいオーダーのRMS変動の具体的記載はない。この0.1μmオーダーのRMS変動は、原子的にみると非常に粗い凹凸である。FBAR/SBAR形式の音響共振器は、結晶が電極平面に垂直な柱状晶をなし成長する圧電体材料を必要とする。特開2000-69594号公報では、PSG層の表面に平行な導電シートの高さのRMS変動は2μm未満と記載されているものの、具体的には0.1μmより小さいオーダーのRMS変動の具体的記載はない。この0.1μmオーダーのRMS変動は、音響共振器用の圧電体薄膜を形成する表面としては不十分な表面粗さである。圧電体膜を成長させる試みが行われたが、粗面上の多数の凹凸の影響で多様な方向に結晶が成長するので、得られた圧電体薄膜の結晶品質は必ずしも十分なものでなく、圧電効果を殆どまたは全く示さない不十分なものであった。

【0011】以上のような空気/結晶境界面を設ける代わりに、適切な音響ミラーを設ける方法もある。この方法は、例えば特開平6-295181号公報に記載のように、挟み込み構造の下に音響的ブラッグ反射鏡からなる大きな音響インピーダンスが作り出される。ブラッグ反射鏡は、高低の音響インピーダンス材料の層を交互に積層することにより作られる。各層の厚さは共振周波数の波長の1/4に固定される。十分な層数により、圧電体/電極境界面における有効インピーダンスを、素子の音響インピーダンスよりはるかに高くすることができ、したがって、圧電体内の音波を有効に閉じ込めることができる。この方法により得られる音響共振器は、挟み込み構造の下に空隙が存在しないので、固体音響ミラー取付け共振器 (SMR) と呼ばれる。

【0012】この方法は、周辺部が固定され中心部が自由に振動できる膜を作るという前述の第1の方法及び第2の方法の問題を回避しているが、この方法にも多くの問題点がある。即ち、金属層はフィルタの電気性能を劣

10

20

30

40

50

化させる寄生コンデンサを形成するのでブラッグ反射鏡の層に使用できないから、ブラッグ反射鏡に使用する材料の選択には、制限がある。利用可能な材料から作られる層の音響インピーダンスの差は大きくない。したがって、音波を閉じ込めるには、非常に多くの数の層が必要である。この方法は、各層にかかる応力を精密に制御しなければならないので、製作プロセスが複雑である。また、10ないし14といった多数の層をを貫くパイアを作るのは困難であるから、この方法により得られる音響共振器は他の能動素子との集積化には不都合である。更に、これまでに報告された例では、この方法により得られる音響共振器は、空気ブリッジを有する音響共振器より有効結合係数がかかなり低い。その結果、SMRを用いたフィルタは、空気ブリッジ式の音響共振器を用いたものに比較して有効帯域幅が狭い。

#### 【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、改良された性能を有するFBAR/SBAR素子を提供することである。

【0014】本発明の他の目的は、薄膜圧電体(PZ)の結晶品質を向上させることにより、電気機械結合係数、音響品質係数(Q値)、温度特性などに優れた高性能のFBAR/SBAR素子を提供することである。

【0015】本発明の更に別の目的は、上方電極の形状を工夫することにより、電気機械結合係数、音響品質係数(Q値)、温度特性などに優れた高性能のFBAR/SBAR素子を提供することである。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記圧電体層の第1の表面は高さのRMS変動が2.0nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器、が提供される。

【0017】本発明において、高さのRMS変動は、日本工業規格JIS B0601:2001「製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状:輪郭曲線方式―用語、定義及び表面性状パラメータ」に記載の二乗平均平方根粗さ:Rqである(以下に記載の発明についても同様)。

【0018】また、本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有しており、前記第1の電極の前記圧電体層の側の表面は高さのRMS変動が2.0nm以下であることを特徴とする薄膜音響共振器、が提供される。

【0019】本発明の一態様においては、前記圧電体層の前記第2の表面は高さのRMS変動が前記圧電体層の

厚さの0.50%以下である。

【0020】本発明の一態様においては、前記第2の電極は中央部と該中央部より厚い外周部とを有する。本発明の一態様においては、前記第2の電極の中央部の表面のうねり高さは前記圧電体層の厚さの5.0%以下である。尚、本発明において、うねり高さは、測定長100μmにおけるうねり高さに換算した値である。

【0021】本発明の一態様においては、前記第2の電極の外周部は前記第2の電極の中央部の周囲に枠状に位置する。本発明の一態様においては、前記第2の電極は前記中央部の厚さ変動が該中央部の厚さの2%以下である。本発明の一態様においては、前記第2の電極の外周部の厚さは前記第2の電極の中央部の高さの1.1倍以上である。本発明の一態様においては、前記第2の電極の外周部は前記第2の電極の外縁から40μmまでの距離の範囲内に位置する。

【0022】本発明の一態様においては、前記圧電体層と前記第1の電極と前記第2の電極とからなる挟み込み構造体は、基板の表面に形成された窪みをまたぐように前記基板により縁部が支持されている。本発明の一態様においては、前記基板の表面上には、前記窪みをまたぐように形成された絶縁体層が配置されており、該絶縁体層上に前記挟み込み構造体が形成されている。

【0023】更に、本発明によれば、以上の如き目的を達成するものとして、圧電体層と、該圧電体層の第1の表面に接合された第1の電極と、前記圧電体層の前記第1の表面と反対側の第2の表面に接合された第2の電極とを有する薄膜音響共振器を製造する方法であって、基板の表面に窪みを形成し、該窪み内に犠牲層を充填し、該犠牲層の表面を高さのRMS変動が1.0nm以下となるように研磨し、前記犠牲層の表面の一部の領域と前記基板の表面の一部の領域とにわたってそれらの上に前記第1の電極を形成し、該第1の電極上に前記圧電体層を形成し、該圧電体層上に前記第2の電極を形成し、前記窪み内から前記犠牲層をエッチング除去することを特徴とする、薄膜音響共振器の製造方法、が提供される。

【0024】本発明の一態様においては、前記第1の電極を厚さ150nm以下に形成し、該第1の電極の上面を高さのRMS変動が2.0nm以下となるようにする。本発明の一態様においては、前記犠牲層の上に前記第1の電極を形成するに先立って絶縁体層を形成する。

#### 【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

【0026】図1および図2は、それぞれ、本発明による薄膜音響共振器であるFBARおよびSBARの基本構成を説明するための模式的断面図である。

【0027】図1において、FBAR20は、上方電極21および下方電極23を備え、これらは圧電体(PZ)材料の層22の一部を挟み込んで挟み込み構造を形

10

20

30

40

50

成している。好適な PZ 材料は窒化アルミニウム (AlN) または酸化亜鉛 (ZnO) である。FBAR20 に使用される電極 21, 23 は、好適にはモリブデンから作られるが、他の材料を使用することも可能である。下方電極 23 が第 1 の電極であり、上方電極 21 が第 2 の電極である。

【0028】この素子は、薄膜 PZ 材料内のバルク弾性音響波の作用を利用している。印加電圧により二つの電極 21, 23 の間に電界が生ずると、PZ 材料は電気エネルギーの一部を音波の形の機械的エネルギーに変換する。音波は電界と同じ方向に伝播し、電極/空気境界面で反射される。

【0029】機械的に共振している時、素子は電気共振器として機能し、したがって、素子は、ノッチフィルタとして動作することができる。素子の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが当該音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。音波の周波数は電極 21, 23 間に印加される電気信号の周波数である。音波の速度は光の速度より 5~6 桁小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz 帯の用途に対する共振器を、平面寸法が約 100  $\mu\text{m}$  および厚さが数  $\mu\text{m}$  のオーダーで構成することができる。

【0030】次に、図 2 を参照して SBAR について説明する。SBAR40 は、帯域フィルタと類似の電氣的機能を与える。SBAR40 は、基本的には機械的に結合されている二つの FBAR フィルタである。圧電体層 41 の共振周波数で電極 43 および 44 を横断する信号は、音響エネルギーを圧電体層 42 に伝える。圧電体層 42 内の機械的振動は、電極 44 および 45 を横断する電気信号に変換される。

【0031】図 3~図 8 は、本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図 (図 3~図 6, 図 8) 及び模式的平面図 (図 7) である。

【0032】先ず、図 3 に示されているように、集積回路製作に利用されている通常のシリコンウェーハ 51 に、エッチングにより窪みを形成する。窪みの深さは好適には 3~30  $\mu\text{m}$  である。FBAR の挟み込み構造の下の方の空洞の深さは圧電体層により生ずる変位を許容すればよい。したがって、空洞の深さは数  $\mu\text{m}$  あれば十分である。

【0033】ウェーハ 51 の表面に熱酸化により酸化シリコンの薄層 53 を形成し、これにより、その上に以後の工程で形成される犠牲層の PSG からウェーハ 51 内に隣が拡散しないようにする。このようにウェーハ内への隣が拡散を抑制することにより、シリコンウェーハが導体に変換されることが阻止され、作製された素子の電氣的動作に対する悪影響をなくすることができる。以上のようにしてウェーハ 51 の表面に酸化シリコン薄層 53 を形成したものを、基板として用いる。即ち、図 3 は、

基板の表面に深さが好適には 3~30  $\mu\text{m}$  の窪み 52 を形成した状態を示す。

【0034】次に、図 4 に示されているように、基板の酸化シリコンの薄層 53 上に磷酸石英ガラス (PSG) 層 55 を堆積させる。PSG は、シランおよびホスフィン ( $\text{PH}_3$ ) を使用して約 450℃ までの温度で堆積され、隣含有量約 8% の軟ガラス様物質を形成する。この低温プロセスは、当業者に周知である。PSG は、比較的低温で堆積させることができ、且つ、希釈  $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{F}$  溶液で非常に高いエッチング速度でエッチングされる非常にクリーンな不活性材料であるから、犠牲層の材料として好適である。以後の工程で実行されるエッチングにおいて 10:1 の希釈割合で毎分約 3  $\mu\text{m}$  のエッチング速度が得られる。

【0035】堆積したままの PSG 犠牲層 55 の表面は、原子レベルでみると非常に粗い。したがって、堆積したままの PSG 犠牲層 55 は、音響共振器を形成する基体としては不十分である。FBAR/SBAR 形式の音響共振器は、結晶が電極面に垂直な柱状晶をなして成長する圧電材料を必要とする。微細な研磨粒子を含む研磨スラリーを用いて PSG 犠牲層 55 の表面を磨いて滑らかにすることにより、優れた結晶の圧電材料の薄膜を形成する。

【0036】即ち、図 5 に示されているように、PSG 層 55 の表面を粗仕上げスラリーで磨くことにより全体的に平面化して、窪み 52 の外側の PSG 層の部分を除く。次に、残っている PSG 層 55 を更に微細な研磨粒子を含むスラリーで磨く。代替方法として、磨き時間が長くかかってもしよければ一つの更に微細なスラリーを用いて上記二つの磨きステップを実行してもよい。目標は、鏡面仕上げである。

【0037】以上のようにして窪み 52 に対応する位置に PSG 層 55 を残留させた基板のクリーニングも重要である。スラリーは基板上に少量のシリカ粗粉を残す。この粗粉を除去せねばならない。本発明の好適な実施形態では、この粗粉除去をポリテックス (Polytex (商標): ロデル・ニッタ社) のような堅いパッドの付いた第 2 の研磨具を使用して行う。その際の潤滑剤として、脱イオン水を使用し、磨いてから最終クリーニングステップの準備が完了するまでウェーハを脱イオン水中に入れておく。基板を、最後の磨きステップと最後のクリーニングステップとの間で乾燥させないように注意する。最後のクリーニングステップは、基板を色々な化学薬品の入っている一連のタンクに漬けることから成る。各タンクに超音波攪拌を加える。このようなクリーニング手段は当業者に周知である。

【0038】研磨剤は、シリカ微粒子から構成されている。本発明の好適な実施形態では、シリカ微粒子のアンモニア主体スラリー (Rodel Klebosol # 30N: ロデル・ニッタ社) を利用する。

【0039】以上の説明では特定の研磨およびクリーニングの様式を示したが、必要な滑らかな表面を与えるどんな研磨およびクリーニングの様式をも利用することができる。本発明の好適な実施形態では、最終表面は、原子間力顕微鏡プローブで測った高さのRMS変動が1.0nm以下である。

【0040】以上のようにして表面をきれいにしてから、図6に示されているように、挟み込み構造体60の下方電極61を堆積させる。下方電極61の好適な材料は、モリブデン(Mo)である。しかし、下方電極61を他の材料たとえばAl、W、Au、PtまたはTiから構成することもできる。その低い熱弾性損失のためモリブデン(Mo)が好適である。たとえば、Moの熱弾性損失は、Alの約1/56である。

【0041】下方電極61の厚さも重要である。厚い層は、薄い層より表面が粗くなる。圧電体層62の堆積のための滑らかな表面を維持することは、得られる共振器の性能にとって非常に重要である。したがって、下方電極61の厚さは、好適には150nm以下である。Moは好適にはスパッタリングにより堆積される。これにより、表面の高さのRMS変動が2.0nm以下のMo層が得られる。

【0042】下方電極61を堆積し終わってから、圧電体層62を堆積する。圧電体層62の好適な材料は、AlNまたはZnOであり、これもスパッタリングにより堆積される。本発明の好適な実施形態では、圧電体層62の厚さは、0.1μmから10μmの間(好ましくは0.5μm~2μm)にある。圧電体層62の上面は、高さのRMS変動が圧電体層厚さ(平均値)の0.50%以下であるのが好ましく、また、うねり高さが圧電体層62の厚さの5.0%以下であるのが好ましい。

【0043】最後に、上方電極63を堆積させる。上方電極63は、下方電極61と同様な材料から構成され、好適にはMoから構成される。

【0044】以上のようにして、下方電極61、圧電体層62及び上方電極63からなり、所要の形状にパターンニングされた挟み込み構造体60を形成してから、図7に示されているように、挟み込み構造体60の端部または挟み込み構造体60により覆われずに露出している犠牲層55の部分から、希釈H<sub>2</sub>O:HF溶液でエッチングすることにより、挟み込み構造体60の下方のPSGをも除去する。これにより、図8に示されているように、窪み52の上に橋架けされた挟み込み構造体60が残る。即ち、挟み込み構造体60は、基板の表面に形成された窪み52をまたぐように基板により縁部が支持されている。

【0045】以上のようにして得られたFBARにおいては、犠牲層55の表面(高さのRMS変動が1.0nm以下)に従って、その上に形成された下方電極61の下面の高さのRMS変動が2.0nm以下であり、更に

該下方電極61は厚さが薄いので上面も高さのRMS変動が2.0nm以下である。そして、この下方電極61の上面に従って、その上に形成された圧電体層62の下面の高さのRMS変動が2.0nm以下である。下方電極61の滑らかな上面は、圧電体層62の成長核となる結晶構造を備えていないにもかかわらず、形成される圧電体層62に非常に規則正しい構造のc軸配向を形成し優れた圧電特性を与える。

【0046】図9~図10は、本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの更に別の実施形態を説明するための模式的断面図である。この実施形態では、上記図3~5に関し説明したような工程の後に、図9に示されているように、絶縁体層54を形成する。絶縁体層54は、たとえばSiO<sub>2</sub>膜であり、CVD法により堆積することができる。この絶縁体層54の厚さは、例えば50~1000nmであり、その上面は高さのRMS変動が2.0nm以下である。その上に、上記図6に関し説明したような工程を行って挟み込み構造体60を形成する。次いで、図10に示されているように、上記図7及び図8に関し説明したような工程を行って、FBARを得る。その際に、犠牲層55をエッチング除去するために、挟み込み構造体60の端部または挟み込み構造体60により覆われていない絶縁体層54の部分であって犠牲層55の上方の部分に適宜の大きさの開口を形成し、該開口からエッチング液を供給する。

【0047】本実施形態のFBARは、挟み込み構造体60と空洞52との間に絶縁体層54が配置されており、挟み込み構造体60に加えて絶縁体層54をも含んで振動部が構成されるので、該振動部の強度が向上する。

【0048】以上の実施形態は、FBARに関するものである。しかし、当業者には、以上の説明から、同様なプロセスを用いてSBARを作製することが可能であることが明らかであろう。SBARの場合には、もう一つの圧電体層(第2の圧電体層)およびその上の電極(第2の上方電極)を堆積しなければならない。第2の圧電体層は上記実施形態で示されているような「FBAR」の上方電極の上に形成されているから、この上方電極の厚さをも150nm以下に維持して第2の圧電体層を堆積するための適切な表面(第1の圧電体層の下方電極の表面と同様)を与えるのが好ましい。

【0049】図11は、本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの更に別の実施形態を説明するための模式的断面図であり、図12はその上方電極の平面図である。この実施形態では、上方電極63の形状のみ、上記図3~8に関し説明した実施形態と異なる。

【0050】本実施形態では、上方電極63が中央部631と該中央部の周囲に枠状に位置し且つ中央部631

より肉厚の外周部632とを有する。中央部631と外周部632との境界は段差により形成されている。

【0051】外周部632の厚さは、中央部631の厚さの1.1倍以上であるのが好ましい。また、中央部631の厚さ変動は、該中央部の厚さ(平均値)の2%以下であるのが好ましい。上方電極63の寸法aは、例えば100 $\mu$ mである。外周部632は上方電極63の外縁から距離bまでの範囲内に位置しており、距離bは例えば40 $\mu$ mまでの値である。

【0052】このような上方電極構造とすることで、上方電極外周部での横方向の振動発生を抑制し、音響共振器の振動に余分なスプリアス振動が重なることを防止することができる。その結果、音響共振器およびフィルタの共振特性や品質係数が改善される。

【0053】本実施形態では、一層高い音響的品質係数(Q値)を得るために、上方電極63の中央部631の表面のうねり高さは、圧電体層62の厚さの5.0%以下となるようにするのが好ましい。

【0054】本発明の上述の実施形態では、PSGから構成された犠牲層を利用しているが、犠牲層には他の材料をも使用することができる。たとえば、BPSG(Boron-Phosphor-Silicate-Glass:ボロン-リン-シリコン-ガラス)または、スピンのような他の形態のガラスを利用することもできる。これ以外にも、スピニングにより材料上に堆積できるポリビニール、ポリプロピレン、およびポリスチレンのようなプラスチックがある。堆積したこれら材料の表面は原子的には滑らかでないで、これら材料から犠牲層を構成する場合にも、PSG犠牲層の場合のように、研磨による表面平滑化が重要である。これらの犠牲層は、有機除去材あるいは $O_2$ プラズマエッチングによって取り去ることもできる。

【0055】

【実施例】以下、実施例により本発明を更に詳細に説明する。

【0056】【実施例1】図3～図8に記載されているようにして、薄膜音響共振器を形成した。

【0057】まず、Siウェーハ51の表面をPt/Ti保護膜により被覆し、エッチングにより該保護膜を窪み形成のための所定のパターン状に形成して、Siウェーハ51のエッチングのためのマスクを形成した。その後、Pt/Tiパターンマスクを用いて湿式エッチングを行い、図3に示されているように、深さ20 $\mu$ mで幅150 $\mu$ mの窪みを形成した。このエッチングは、5重量%のKOH水溶液を用い、液温70℃で実施した。

【0058】その後、Pt/Tiパターンマスクを除去し、図3に示されているように、熱酸化によりSiウェーハ51の表面に厚さ1 $\mu$ mの $SiO_2$ 層53を形成し、Siウェーハ51及び $SiO_2$ 層53からなる基板上に窪み52の形成されている構造を得た。

【0059】次いで、図4に示されているように、窪み52の形成されている $SiO_2$ 層53上に、厚さ30 $\mu$ mのPSG犠牲層55を堆積させた。この堆積は、450℃で、シラン及びホスフィン( $PH_3$ )を原料として用いた熱CVD法により行った。

【0060】次いで、図5に示されているようにして、PSG犠牲層55の表面を研磨し、窪み52以外の領域のPSG犠牲層55を除去した。続いて、窪み52内に残留するPSG犠牲層55の表面を微細な研磨粒子を含むスラリーを用いて入念に研磨し、その表面粗さを高さのRMS変動が1.0nmとなるようにした。

【0061】次いで、図6に示されているように、PSG犠牲層55上に厚さ100nmで寸法200 $\times$ 200 $\mu$ mのMo膜からなる下部電極61を形成した。Mo膜の形成は、DCマグネトロンスパッタ法により行った。そして、リフトオフ法によりMo膜のバターニングを行った。形成されたMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は1.5nmであった。

【0062】次いで、下部電極61上にZnO膜からなる1.0 $\mu$ m厚の圧電体層62を形成した。ZnO膜の形成は、スパッタリングターゲットとしてZnOを用い、スパッタガスとしてArと $O_2$ との混合ガスを用い、スパッタガス圧を5mTorrとし、基板温度400℃でRFマグネトロンスパッタ法により行った。形成されたZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の0.5%以下の4.0nmであった。湿式エッチングによりZnO膜を所定形状にバターニングして圧電体層62を得た。

【0063】次いで、圧電体層62上に、厚さ100nmのMo膜からなる上部電極63を形成した。Mo膜の形成及びバターニングは、下部電極61の形成の際と同様にした。上部電極63の表面について、測定長さ150 $\mu$ mでうねり高さを測定し、測定長さ100 $\mu$ mでのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%以下の30nmであった。

【0064】次いで、希釈 $H_2O:Hf$ 溶液でエッチングすることによりPSG犠牲層55を除去した。これにより、図8に示されているように、窪み52の上にMo/ZnO/Moの挟み込み構造体60が橋架けされた形態を形成した。

【0065】得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して88.8度の方向であり、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は2.4度であり、良好な配向性を示していた。

【0066】以上のようにして得られた音響共振器について、マイクロ波プローバを使用して上部電極63と下部電極61との間のインピーダンス特性を測定するとともに、共振周波数 $f_r$ 及び反共振周波数 $f_a$ を測定し、これらの測定値に基づき電気機械結合係数 $k_t^2$ を算出



した。電気機械結合係数  $k t^2$  は 5.5% で、音響的品質係数は 700 であった。

【0067】【比較例1】PSG犠牲層55の表面粗さを高さのRMS変動が30nmとなるように研磨を行ったこと以外は、実施例1と同様にして音響共振器を作製した。

【0068】下部電極61のMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は34nmであった。また、ZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の0.5%を越える37nmであった。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを測定し、測定長さ100μmでのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%を越える110nmであった。

【0069】得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して87.0度の角度に成長しており、ロッギングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は6.8度であった。

【0070】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数  $k t^2$  は3.4%で、音響的品質係数は430であった。

【0071】【実施例2】圧電体層62としてZnO膜に代えてAlN膜からなるものを用いたこと以外は、実施例1と同様にして音響共振器を作製した。即ち、下部電極61上にAlN膜からなる1.2μm厚の圧電体層62を形成した。AlN膜の形成は、スパッタリングターゲットとしてAlを用い、スパッタガスとしてArとN<sub>2</sub>との混合ガスを用い、基板温度400℃でRFマグネトロンスパッタ法により行った。形成されたAlN膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の0.5%以下の2.4nmであった。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを測定し、測定長さ100μmでのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%以下の33nmであった。

【0072】得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して88.6度の方向であり、ロッギングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は2.8度であり、良好な配向性を示していた。

【0073】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数  $k t^2$  は6.6%で、音響的品質係数は910であった。

【0074】【比較例2】PSG犠牲層55の表面粗さを高さのRMS変動が33nmとなるように研磨を行ったこと以外は、実施例2と同様にして音響共振器を作製した。

【0075】下部電極61のMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は36nmであった。また、AlN膜の表面粗さを測定したところ、高さのRM

S変動は膜厚の0.5%を越える40nmであった。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを測定し、測定長さ100μmでのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%を越える150nmであった。

【0076】得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して86.5度の角度に成長しており、ロッギングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は7.0度であった。

【0077】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数  $k t^2$  は3.8%で、音響的品質係数は470であった。

【0078】【実施例3】図3～図5、図9～図10に記載されているようにして、薄膜音響共振器を形成した。

【0079】まず、実施例1と同様にして、図5に示される構造体を得た。但し、窪み52内に残留するPSG犠牲層55の表面を微細な研磨粒子を含むスラリーを用いて研磨し、その表面粗さを高さのRMS変動が0.6nmとなるようにした。

【0080】次いで、図9に示されているように、PSG犠牲層55の表面をも覆うように基板上にCVD法により厚さ500nmのSiO<sub>2</sub>膜からなる絶縁体層54を形成した。形成された絶縁体層54の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は1.5nmであった。

【0081】次いで、絶縁体層54上に、実施例1と同様にして、図10に示されているように、Mo膜からなる下部電極61を形成した。形成されたMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は1.8nmであった。

【0082】次いで、実施例1と同様にして、下部電極61上にZnO膜からなる圧電体層62を形成した。形成されたZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の0.5%以下の4.5nmであった。

【0083】次いで、実施例1と同様にして、圧電体層62上にMo膜からなる上部電極63を形成した。上部電極63の表面について、測定長さ150μmでうねり高さを測定し、測定長さ100μmでのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%以下の27nmであった。

【0084】次いで、絶縁体層54の露出している部分にPSG犠牲層55に達するパイアホールを開口し、該開口を介して希釈H<sub>2</sub>O:HF溶液でエッチングすることによりPSG犠牲層55を除去した。これにより、図10に示されているように、窪み52の上に絶縁体層54とMo/ZnO/Moの挟み込み構造体60との積層体が橋架けされた形態を形成した。

【0085】得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して88.8度の方

向であり、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は2.3度であり、良好な配向性を示していた。

【0086】以上のようにして得られた音響共振器について、マイクロプローバを使用して上部電極63と下部電極61との間のインピーダンス特性を測定するとともに、共振周波数 $f_r$ 及び反共振周波数 $f_a$ を測定し、これらの測定値に基づき電気機械結合係数 $kt^2$ を算出した。電気機械結合係数 $kt^2$ は5.4%で、音響的品質係数は680であった。

【0087】【比較例3】PSG犠牲層55の表面粗さを高さのRMS変動が32nmとなるように研磨を行ったこと以外は、実施例3と同様にして音響共振器を作製した。

【0088】絶縁体層54の $SiO_2$ 膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は36nmであった。また、下部電極61のMo膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は38nmであった。また、ZnO膜の表面粗さを測定したところ、高さのRMS変動は膜厚の0.5%を越える39nmであった。上部電極63の表面について、測定長さ150 $\mu m$ でうねり高さを測定し、測定長さ100 $\mu m$ でのうねり高さの最大値を調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%を越える92nmであった。

\*【0089】得られた圧電体層62の薄膜XRD分析を行ったところ、膜のc軸は膜面に対して86.5度の角度に成長しており、ロッキングカーブにより配向度を調べた結果、ピークの半値幅は6.7度であった。

【0090】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 $kt^2$ は2.9%で、音響的品質係数は390であった。

【0091】【実施例4】上部電極63の形成以外は、実施例2と同様にして音響共振器を作製した。即ち、実施例2と同様にして圧電体層62上に厚さ100nmのMo膜を形成した後に、その外縁から30 $\mu m$ の幅の領域において、更にリフトオフ法により厚さ20nmのMo膜を形成して、図11に示されているような上部電極63を形成した。

【0092】上部電極63の中央部631の表面について、測定長さ100 $\mu m$ でうねり高さを調べたところ、圧電体層62の膜厚の5.0%以下の34nmであった。

【0093】以上のようにして得られた音響共振器の電気機械結合係数 $kt^2$ は7.0%で、音響的品質係数は960であった。

【0094】

【表1】

	FBAR構成											音響共振器としての特性	
	犠牲層 表面粗さ RMS (nm)	絶縁体層		下部電極層		圧電体薄膜				上部電極層		電気機械 結合係数 $kt^2$ (%)	音響的 品質係数 Q
		材質	表面粗さ RMS (nm)	材質	表面粗さ RMS (nm)	材質	表面粗さ RMS (nm)	c軸方向 (deg)	ロット方向-7 FWHM (deg)	材質	うねり高さ (nm)		
実施例1	1.0	なし	—	Mo	1.5	ZnO	4.0	89.2	2.1	Mo	34	6.0	770
実施例2	1.0	なし	—	Mo	1.5	AlN	2.4	89.0	2.5	Mo	38	6.9	960
実施例3	0.6	$SiO_2$	1.5	Mo	1.8	ZnO	4.5	89.2	2.0	Mo	30	5.7	730
実施例4	1.0	なし	—	Mo	1.5	AlN	2.6	89.7	2.5	Mo	40	7.5	1000
比較例1	30	なし	—	Mo	34	ZnO	37	87.0	6.5	Mo	220	3.8	460
比較例2	33	なし	—	Mo	36	AlN	40	86.5	7.0	Mo	280	4.0	500
比較例3	32	$SiO_2$	36	Mo	38	ZnO	39	86.6	6.7	Mo	185	3.3	420

【0095】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、高さのRMS変動が1.0nm以下という原子レベルで見て平滑な犠牲層表面上に直接または絶縁体層を介して第1の電極を形成し、該第1の電極の表面を高さのRMS変動が2.0nm以下となるようにし、その上に圧電体層を形成するので、第1の電極の結晶性が向上し、これに従って圧電体層の配向性及び結晶品質が著しく改善され、これにより、電気機械結合係数及び音響的品質係数に優れた高性能な薄膜音響共振器が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による薄膜音響共振器であるFBARの基本構成を説明するための模式的断面図である。

【図2】本発明による薄膜音響共振器であるSBARの基本構成を説明するための模式的断面図である。

【図3】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図4】本発明による音響共振器であるFBARの製造方法及びそれにより得られたFBARの実施形態を説明

するための模式的断面図である。

【図 5】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図 6】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図 7】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図 8】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図 9】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図 10】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図である。

【図 11】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の実施形態を説明するための模式的断面図である。

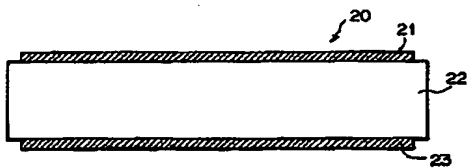
10

【図 12】本発明による音響共振器である FBAR の製造方法及びそれにより得られた FBAR の上方電極の平面図である。

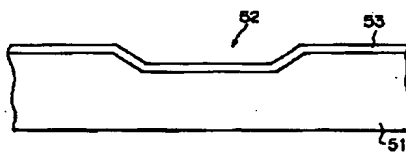
【符号の説明】

- |            |          |
|------------|----------|
| 20         | FBAR     |
| 21         | 上方電極     |
| 22         | 圧電体層     |
| 23         | 下方電極     |
| 40         | SBAR     |
| 41, 42     | 圧電体層     |
| 43, 44, 45 | 電極       |
| 51         | シリコンウェーハ |
| 52         | 窪み       |
| 53         | 酸化シリコン薄層 |
| 54         | 絶縁体層     |
| 55         | PSG犠牲層   |
| 60         | 挟み込み構造体  |
| 61         | 下方電極     |
| 62         | 圧電体層     |
| 63         | 上方電極     |
| 631        | 上方電極中央部  |
| 632        | 上方電極外周部  |

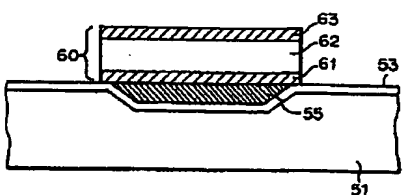
【図 1】



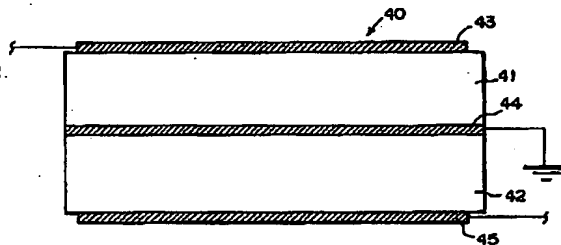
【図 3】



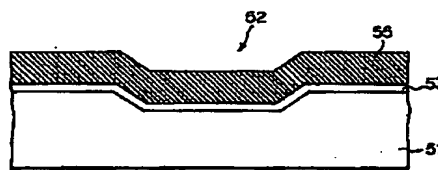
【図 6】



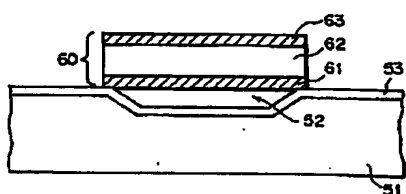
【図 2】



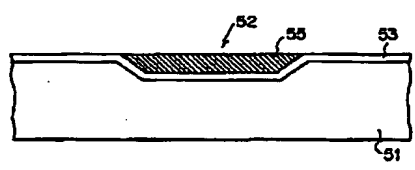
【図 4】



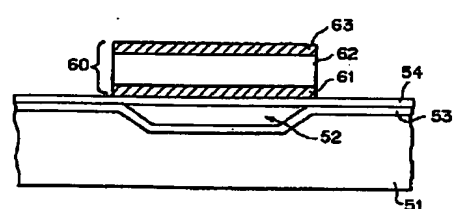
【図 8】



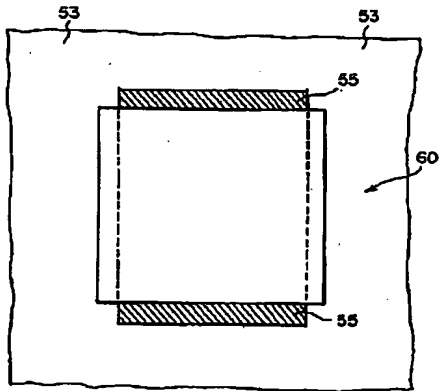
【図 5】



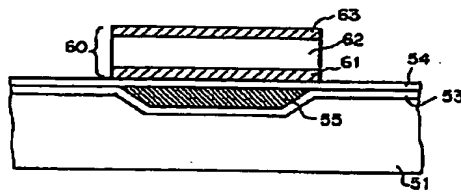
【図 10】



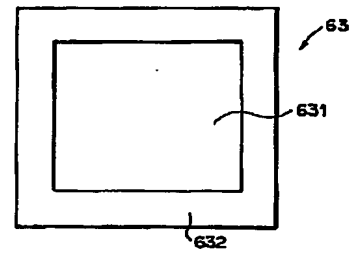
【図7】



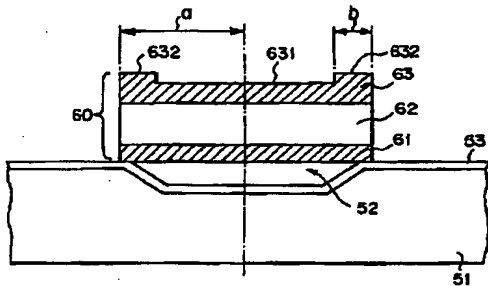
【図9】



【図12】



【図11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7  
H03H 9/17

識別記号

F I  
H01L 41/18

テームコード (参考)  
101Z

(72) 発明者 長尾 圭吾  
山口県宇部市大字小串1978番地の5 宇部  
興産株式会社宇部研究所内

Fターム (参考) 5J108 BB07 BB08 CC11 CC12 KK01

## \* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] The 1st front face of said piezo electric crystal layer is a thin film sound resonator with which it is characterized by having a piezo electric crystal layer, the 1st electrode joined to the 1st front face of this piezo electric crystal layer, and the 2nd electrode joined to said 1st front face of said piezo electric crystal layer, and the 2nd front face of the opposite side, and RMS fluctuation of height being 2.0nm or less.

[Claim 2] The near front face of said piezo electric crystal layer of said 1st electrode is a thin film sound resonator with which it is characterized by having a piezo electric crystal layer, the 1st electrode joined to the 1st front face of this piezo electric crystal layer, and the 2nd electrode joined to said 1st front face of said piezo electric crystal layer, and the 2nd front face of the opposite side, and RMS fluctuation of height being 2.0nm or less.

[Claim 3] Said 2nd front face of said piezo electric crystal layer is a thin film sound resonator according to claim 1 to 2 characterized by RMS fluctuation of height being 0.50% or less of the thickness of said piezo electric crystal layer.

[Claim 4] Said 2nd electrode is a thin film sound resonator according to claim 1 to 3 characterized by having a center section and the periphery section thicker than this center section.

[Claim 5] The external waviness height of the front face of the center section of said 2nd electrode is a thin film sound resonator according to claim 4 characterized by being 5.0% or less of the thickness of said piezo electric crystal layer.

[Claim 6] Said periphery section is a thin film sound resonator according to claim 4 to 5 characterized by being located in the perimeter of said center section in the shape of a frame.

[Claim 7] Said 2nd electrode is a thin film sound resonator according to claim 4 to 6 characterized by thickness fluctuation of said center section being 2% or less of the thickness of this center section.

[Claim 8] The thickness of said periphery section is a thin film sound resonator according to claim 4 to 7 characterized by being 1.1 or more times of the height of said center section.

[Claim 9] Said periphery section is a thin film sound resonator according to claim 4 to 8 characterized by being located within the limits of the distance from the rim of said 2nd electrode to 40 micrometers.

[Claim 10] It is the thin film sound resonator according to claim 1 to 9 which puts and is characterized by supporting the edge by said substrate so that the structure may straddle the hollow which consists of said piezo electric crystal layer, said 1st electrode, and said 2nd electrode, and which was formed on the surface of the substrate.

[Claim 11] The thin film sound resonator according to claim 10 which the insulator layer formed on the front face of said substrate so that said hollow might be straddled is arranged, and is characterized by forming said clip lump structure on this insulator layer.

[Claim 12] It is the approach of manufacturing the thin film sound resonator which has a piezo electric crystal layer, the 1st electrode joined to the 1st front face of this piezo electric crystal layer, and the 2nd electrode joined to said 1st front face of said piezo electric crystal layer, and the 2nd front face of the opposite side. Form a hollow on the surface of a substrate, and are filled up with a sacrifice layer in this hollow, and the front face of this sacrifice layer is ground so that RMS fluctuation of height may be set to 1.0nm or less. Said 1st electrode is formed on them over some fields of the front face of said sacrifice layer, and the field of a part of front face of said substrate. this -- the manufacture approach of the thin film sound resonator which forms said piezo electric crystal layer on the 1st electrode, forms said 2nd electrode on this piezo electric crystal layer, and is characterized by carrying out etching removal of said sacrifice layer from the inside of said hollow.

[Claim 13] The manufacture approach of the thin film sound resonator according to claim 12 which forms said 1st electrode in 150nm or less in thickness, and is characterized by making the top face of this 1st electrode RMS fluctuation of height set to 2.0nm or less.

[Claim 14] The manufacture approach of the thin film sound resonator according to claim 12 to 13 characterized by preceding forming said 1st electrode on said sacrifice layer, and forming an insulator layer.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**DETAILED DESCRIPTION****[Detailed Description of the Invention]**

**[0001]**

**[Field of the Invention]** This invention relates to the thin film sound resonator using the electroacoustic effect of a piezo electric crystal thin film. A thin film sound resonator can be used as a component of the filter for transmitters.

**[0002]**

**[Description of the Prior Art]** From the need of reducing the cost and the dimension of electronic equipment, efforts to make small the dimension of the filter as the circuitry element continue continuously. The severe limit is added to consumer electronics like a cellular mobile telephone and miniature radio to the magnitude of the component built in it, and the both sides of cost. The electronic equipment of such a large number uses the filter which must be aligned with a precise frequency. Therefore, efforts to offer a cheap and compact filter are continued.

**[0003]** What is constituted using a sound resonator as a filter which may fill the demand of these low prices and a miniaturization is mentioned. The sound resonator uses the bulk elastic acoustic wave in a thin film piezo electric crystal (PZ) ingredient. With one easy configuration of a sound resonator, the layer of a thin film PZ ingredient was put between two metal electrodes, puts, and forms structure. It puts and structure is supported by [ this ] supporting a perimeter by cross-linking \*\*\*\*\* by which the center section was hung in the air. If electric field occur with the electrical potential difference impressed between two electrodes, PZ ingredient will transform some of electrical energy into the mechanical energy of the form of an acoustic wave. An acoustic wave is spread in the same direction as electric field, and is reflected in an electrode / air interface.

**[0004]** While resonating mechanically, a sound resonator can function as an electrical resonator, therefore can constitute a filter using this. The mechanical resonance of a sound resonator is generated on the frequency to which the thickness of the ingredient which an acoustic wave spreads becomes equal to the half-wave length of an acoustic wave. The frequency of an acoustic wave is equal to the frequency of the electrical signal impressed to an electrode. Since the rate of an acoustic wave is smaller than the rate of light 5-6 figures, it can use the resonator obtained as a compact extremely. The resonator for the application of a GHz band can consist of diameters of less than 200 microns with a dimension with a thickness of less than several microns.

**[0005]** It puts in the above thin film bulk sound resonators (Thin Film Bulk Acoustic Resonators: call it Following FBAR), the laminating thin film bulk sound resonator of the gestalt which carried out the laminating of the above-mentioned clip lump structure, and a filter (Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonators and Filters: call it Following SBAR), and the core of structure is a piezo electric crystal thin film with a thickness of about about 1-2 microns produced by the spatter. The electrode of the upper part and a lower part gives the electric field which work as an electric lead, put a piezo electric crystal thin film, and pierce through a piezo electric crystal thin film. A piezo electric crystal thin film transforms a part of electric-field energy into dynamics energy. The stress / "distortion" energy which answers the impression electric-field energy which carries out time amount change, and carries out time amount change are formed.

**[0006]** In order to operate FBAR or SBAR as a sound resonator, the air / crystal interface for [ containing a piezo electric crystal thin film ] putting, putting an acoustic wave in support of structure by cross-linking \*\*\*\*\*, and shutting up in structure must be formed. It puts, and structure is made, when a lower part electrode and PZ layer are deposited on a substrate front face and it next makes an upper part electrode usually deposit. Therefore, it puts and air / crystal interface has already existed in the structure bottom. It must put and air / crystal interface must be established also in the structure bottom. Although [ this ] it puts and the air / crystal interface of the structure bottom are obtained, some approaches as shown below are used conventionally.

**[0007]** The 1st approach uses for JP,58-153412,A like a publication etching removal of the wafer which forms the

substrate. If a substrate consists of silicon, a part of silicon substrate will be etched and removed from a background using a heating KOH water solution, and a hole will be formed. The resonator which has the gestalt which put and supported the edge of structure in the part around the hole of a silicon substrate by this is obtained. However, it is made very easy for the hole which was able to pierce through and open such a wafer to make a wafer very delicate, and to destroy. Furthermore, if wet etching using KOH is performed to a substrate front face on 54.7 etching inclinations, the improvement in the amount of acquisition of a final product, i.e., the yield of FBAR/SBAR on a wafer, is difficult. For example, the abbreviation 150micrometerx150micrometer form width formed on the silicon wafer of 250-micrometer thickness is had and put, and structure needs background etching opening of an abbreviation

450micrometerx450micrometer dimension. Therefore, the abbreviation 1/9 of a wafer can only be used for production.

[0008] The 2nd conventional method of putting and establishing air / crystal interface in the bottom of structure is making an air bridge type FBAR component like the publication to JP,2-13109,A. Usually, a sacrifice layer (Sacrificial layer) is installed first, then, it puts on a sacrifice layer, and structure is produced. A sacrifice layer is removed near the end of a process, or the end. Since all processings are performed by the front-face side of a wafer, as for this approach, neither the alignment by the side of wafer both sides nor background opening of a large area needs them.

[0009] The configuration and the manufacture approach of an air bridge type FBAR/SBAR component which used phosphoric acid quartz glass (PSG) as a sacrifice layer are indicated by JP,2000-69594,A. In this official report, the PSG layer has deposited on the silicon wafer. PSG is deposited at the temperature to about 450 degrees C using a silane and a phosphine (PH<sub>3</sub>), and forms the \*\* glass Mr. matter which is about 8% of phosphorus contents. PSG can be made to deposit at low temperature comparatively, and is etched with a very high etch rate with a dilution H<sub>2</sub> O:HF solution.

[0010] However, in this official report, although RMS (square mean square root) fluctuation of the height of a PSG sacrifice layer is indicated to be less than 0.5 micrometers, there is specifically no concrete publication of RMS fluctuation of order smaller than 0.1 micrometers. When RMS fluctuation of this 0.1-micrometer order is seen atomically, it is very coarse irregularity. The sound resonator of a FBAR/SBAR format needs the piezo electric crystal ingredient which forms a columnar crystal with a crystal perpendicular to an electrode flat surface, and grows. At JP,2000-69594,A, although RMS fluctuation of the height of an electric conduction sheet parallel to the front face of a PSG layer is indicated to be less than 2 micrometers, there is specifically no concrete publication of RMS fluctuation of order smaller than 0.1 micrometers. RMS fluctuation of this 0.1-micrometer order is surface roughness inadequate as a front face which forms the piezo electric crystal thin film for sound resonators. Although the attempt into which the piezo electric crystal film is grown up was performed, since the crystal grew in the various directions under the effect of much irregularity on a split face, the crystal quality of the obtained piezo electric crystal thin film was not necessarily enough, and was most or an inadequate thing which is not shown at all about the piezo-electric effect.

[0011] Instead of preparing the above air / crystal interfaces, there is also a method of preparing a suitable sound mirror. The big acoustic impedance which puts this approach between JP,6-295181,A like a publication, and becomes the bottom of structure from an acoustical Bragg reflection mirror is made. A Bragg reflection mirror is made by carrying out the laminating of the layer of the acoustic-impedance ingredient of height by turns. The thickness of each class is fixed to one fourth of the wavelength of resonance frequency. With sufficient number of layers, the effective impedance in a piezo electric crystal / electrode interface can be far made higher than the acoustic impedance of a component, therefore the acoustic wave in a piezo electric crystal can be shut up effectively. Since it puts and an opening does not exist under structure, the sound resonator obtained by this approach is called a solid-state sound mirror anchoring resonator (SMR).

[0012] Although this approach has avoided the problem of the 1st above-mentioned method of making the film with which a periphery is fixed and a core can vibrate freely, and the 2nd approach, there are many troubles also in this approach. That is, since a metal layer forms the parasitism capacitor which degrades the electric engine performance of a filter and it cannot be used for the layer of a Bragg reflection mirror, selection of the ingredient used for a Bragg reflection mirror has a limit. The difference of the acoustic impedance of the layer made from an available ingredient is not large. Therefore, in order to shut up an acoustic wave, the layer of very many numbers is required. Since this approach must control the stress concerning each class to a precision, its manufacture process is complicated. Moreover, since it is difficult, the sound resonator of making Bahia which pierces through \*\*\*\* of a large number, such as 10 thru/or 14, obtained by this approach is inconvenient to integration with other active elements. Furthermore, the sound resonator obtained by this approach in the example reported until now has an effective coupling coefficient quite lower than the sound resonator which has an air bridge. Consequently, the filter using SMR has narrow effective bandwidth as compared with what used the sound resonator of an air bridge type.

[0013]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The purpose of this invention is offering the FBAR/SBAR component which



has the improved engine performance.

[0014] Other purposes of this invention are offering the FBAR/SBAR component of the high performance excellent in an electromechanical coupling coefficient, a sound quality factor (Q value), the temperature characteristic, etc. by raising the crystal quality of a thin film piezo electric crystal (PZ).

[0015] Still more nearly another purpose of this invention is offering the FBAR/SBAR component of the high performance excellent in an electromechanical coupling coefficient, a sound quality factor (Q value), the temperature characteristic, etc. by devising the configuration of an upper part electrode.

[0016]

[Means for Solving the Problem] According to this invention, as what attains the purpose like \*\*\*\* A piezo electric crystal layer, It has the 1st electrode joined to the 1st front face of this piezo electric crystal layer, and the 2nd electrode joined to said 1st front face of said piezo electric crystal layer, and the 2nd front face of the opposite side. Thin film sound resonator \*\* to which, as for the 1st front face of said piezo electric crystal layer, RMS fluctuation of height is characterized by being 2.0nm or less is offered.

[0017] this invention -- setting -- RMS fluctuation of height -- Japanese Industrial Standards JIS the geometric property specification (GPS)-front face of a B0601:2001"product -- description: -- the profile curvilinear method-vocabulary, a definition, and a front face -- description -- it is mean square square root granularity:Rq given in parameter" (the same is said of invention given in the following).

[0018] According to this invention, as what attains the purpose like \*\*\*\* Moreover, a piezo electric crystal layer, It has the 1st electrode joined to the 1st front face of this piezo electric crystal layer, and the 2nd electrode joined to said 1st front face of said piezo electric crystal layer, and the 2nd front face of the opposite side. Thin film sound resonator \*\* to which, as for the near front face of said piezo electric crystal layer of said 1st electrode, RMS fluctuation of height is characterized by being 2.0nm or less is offered.

[0019] This invention sets like 1 voice and the RMS fluctuation of height of said 2nd front face of said piezo electric crystal layer is 0.50% or less of the thickness of said piezo electric crystal layer.

[0020] This invention sets like 1 voice and said 2nd electrode has a center section and the periphery section thicker than this center section. This invention sets like 1 voice and the external waviness height of the front face of the center section of said 2nd electrode is 5.0% or less of the thickness of said piezo electric crystal layer. In addition, in this invention, external waviness height is the value converted into the external waviness height in 100 micrometers of measurement length.

[0021] This invention sets like 1 voice and the periphery section of said 2nd electrode is located in the perimeter of the center section of said 2nd electrode in the shape of a frame. This invention sets like 1 voice and the thickness fluctuation of said center section of said 2nd electrode is 2% or less of the thickness of this center section. This invention sets like 1 voice and the thickness of the periphery section of said 2nd electrode is 1.1 or more times of the height of the center section of said 2nd electrode. This invention sets like 1 voice and the periphery section of said 2nd electrode is located within the limits of the distance from the rim of said 2nd electrode to 40 micrometers.

[0022] This invention sets like 1 voice, it puts, and the edge is supported by said substrate so that the structure may straddle the hollow which consists of said piezo electric crystal layer, said 1st electrode, and said 2nd electrode and which was formed on the surface of the substrate. This invention sets like 1 voice, the insulator layer formed on the front face of said substrate so that said hollow might be straddled is arranged, and said clip lump structure is formed on this insulator layer.

[0023] According to this invention, as what attains the purpose like \*\*\*\* Furthermore, a piezo electric crystal layer, It is the approach of manufacturing the thin film sound resonator which has the 1st electrode joined to the 1st front face of this piezo electric crystal layer, and the 2nd electrode joined to said 1st front face of said piezo electric crystal layer, and the 2nd front face of the opposite side. Form a hollow on the surface of a substrate, and are filled up with a sacrifice layer in this hollow, and the front face of this sacrifice layer is ground so that RMS fluctuation of height may be set to 1.0nm or less. Said 1st electrode is formed on them over some fields of the front face of said sacrifice layer, and the field of a part of front face of said substrate. this -- said piezo electric crystal layer is formed on the 1st electrode, said 2nd electrode is formed on this piezo electric crystal layer, and manufacture approach \*\* of the thin film sound resonator characterized by carrying out etching removal of said sacrifice layer from the inside of said hollow is offered.

[0024] This invention sets like 1 voice, said 1st electrode is formed in 150nm or less in thickness, and the top face of this 1st electrode is made for RMS fluctuation of height to be set to 2.0nm or less. This invention sets like 1 voice, it precedes forming said 1st electrode on said sacrifice layer, and an insulator layer is formed.

[0025]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained, referring to a drawing.

[0026] Drawing 1 and drawing 2 are the typical sectional views for explaining the basic configuration of FBAR which is a thin film sound resonator by this invention, and SBAR, respectively.

[0027] In drawing 1, FBAR20 is equipped with the upper part electrode 21 and the lower part electrode 23, and these put and put a part of layer 22 of a piezo electric crystal (PZ) ingredient, and form structure. Suitable PZ ingredient is aluminum nitride (AlN) or a zinc oxide (ZnO). Although the electrodes 21 and 23 used for FBAR20 are suitably made from molybdenum, it is also possible to use other ingredients. The lower part electrode 23 is the 1st electrode, and the upper part electrode 21 is the 2nd electrode.

[0028] This component uses the operation of the bulk elastic acoustic wave in a thin film PZ ingredient. If electric field arise between two electrodes 21 and 23 with applied voltage, PZ ingredient will transform a part of electrical energy into the mechanical energy of the form of an acoustic wave. An acoustic wave is spread in the same direction as electric field, and is reflected in an electrode / air interface.

[0029] While resonating mechanically, a component can function as an electrical resonator, therefore a component can operate as a notch filter. The mechanical resonance of a component is generated on the frequency to which the thickness of the ingredient which an acoustic wave spreads becomes equal to the half-wave length of the acoustic wave concerned. The frequency of an acoustic wave is a frequency of the electrical signal impressed between an electrode 21 and 23. Since the rate of an acoustic wave is smaller than the rate of light 5-6 figures, it can use the resonator obtained as a compact extremely. A flat-surface dimension can constitute the resonator to the application of a GHz band from order about 100 micrometers and whose thickness are several micrometers.

[0030] Next, SBAR is explained with reference to drawing 2. SBAR40 gives an electric function similar to a band-pass filter. SBAR(s)40 are two FBAR filters combined mechanically fundamentally. The signal which crosses electrodes 43 and 44 with the resonance frequency of the piezo electric crystal layer 41 tells sound energy to the piezo electric crystal layer 42. The mechanical oscillation in the piezo electric crystal layer 42 is changed into the electrical signal which crosses electrodes 44 and 45.

[0031] Drawing 3 - drawing 8 are the typical sectional views ( drawing 3 - drawing 6, drawing 8 ) and typical top views ( drawing 7 ) for explaining the manufacture approach of FBAR which is a sound resonator by this invention, and the operation gestalt of FBAR acquired by that cause.

[0032] First, a hollow is formed in the usual silicon wafer 51 used for integrated-circuit manufacture by etching as shown in drawing 3. The depth of a hollow is 3-30 micrometers suitably. FBAR puts and the depth of the cavity under structure should just permit the variation rate produced by the piezo electric crystal layer. Therefore, if there is the several micrometers depth of a cavity, it is enough.

[0033] The thin layer 53 of silicon oxide is formed in the front face of a wafer 51 by thermal oxidation, and it is made for phosphorus not to be spread in a wafer 51 by this from PSG of the sacrifice layer formed at future processes on it. Thus, by controlling diffusion of the phosphorus into a wafer, it is prevented that a silicon wafer is changed into a conductor and it can lose the bad influence to the electrical operation of the produced component. What formed the silicon oxide thin layer 53 in the front face of a wafer 51 as mentioned above is used as a substrate. That is, drawing 3 shows the condition that the depth formed the 3-30-micrometer hollow 52 suitably on the surface of the substrate.

[0034] Next, the phosphoric acid quartz-glass (PSG) layer 55 is made to deposit on the thin layer 53 of the silicon oxide of a substrate as shown in drawing 4. PSG is deposited at the temperature to about 450 degrees C using a silane and a phosphine (PH<sub>3</sub>), and forms the \*\* glass Mr. matter of about 8% of phosphorus contents. This low-temperature process is common knowledge at this contractor. Since PSG is a very clean inactive ingredient which can be made to accumulate at low temperature comparatively, and is etched with a very high etch rate with a dilution H<sub>2</sub>O:HF solution, it is suitable as an ingredient of a sacrifice layer. In etching performed at future processes, the etch rate of about 3 micrometers is obtained per minute at a dilution rate of 10:1.

[0035] When the front face of the PSG [ having deposited ] sacrifice layer 55 is seen on atomic level, it is very coarse. Therefore, the PSG [ having deposited ] sacrifice layer 55 is inadequate as a base which forms a sound resonator. The sound resonator of a FBAR/SBAR format needs the piezoelectric material which forms a columnar crystal with a crystal perpendicular to an electrode surface, and grows. By polishing the front face of the PSG sacrifice layer 55 using the polish slurry containing a detailed polish particle, and smoothing, the thin film of the piezoelectric material of the outstanding crystal is formed.

[0036] That is, by polishing the front face of the PSG layer 55 by the rough finishing slurry, on the whole, it flattens and the part of the PSG layer of the outside of a hollow 52 is removed as shown in drawing 5. Next, the PSG layer 55 which remains is polished by the slurry containing a still more detailed polish particle. As an alternate method, as long as it may take polishing time amount for a long time, the two above-mentioned polishing steps may be performed using one still more detailed slurry. A target is mirror plane finishing.

[0037] The cleaning of a substrate which it became [ cleaning ] depressed as mentioned above and made the PSG layer 55 remain in the location corresponding to 52 is also important. A slurry leaves little silica coarse powder on a substrate. This coarse powder must be removed. With the suitable operation gestalt of this invention, this coarse powder removal is performed using the 2nd polish implement to which a hard pad like the poly tex (Rodel Nitta Polytex (trademark): CO.) was attached. The wafer is put in into deionized water after using and polishing deionized water as lubricant in that case until preparation of the last cleaning step is completed. It warns against drying a substrate between the last polishing step and the last cleaning step. The last cleaning step consists of soaking a substrate in a series of tanks which are in close [ of various chemicals ]. Ultrasonic churning is added to each tank. Such a cleaning means is common knowledge at this contractor.

[0038] The abrasive material consists of silica particles. With the suitable operation gestalt of this invention, the ammonia subject slurry (Rodel Klebosol#30N: Rodel Nitta) of a silica particle is used.

[0039] Although the above explanation showed specific polish and the format of cleaning, the format of any polishes which give the front face of required smoothness, and cleaning can be used. With the suitable operation gestalt of this invention, RMS fluctuation of the height which measured the last front face with the atomic force microscope probe is 1.0nm or less.

[0040] After cleaning a front face as mentioned above, it puts and the lower part electrode 61 of the structure 60 is made to deposit as shown in drawing 6 . The suitable ingredient of the lower part electrode 61 is molybdenum (Mo). However, the lower part electrode 61 can also consist of other ingredients, for example, aluminum, W, Au, Pt, or Ti. Molybdenum (Mo) is suitable because of the low thermoelastic loss. For example, thermoelastic loss of Mo is about 1 of aluminum/56.

[0041] The thickness of the lower part electrode 61 is also important. As for a thick layer, a front face becomes coarse from a film. It is very important for the engine performance of the resonator obtained to maintain the smooth front face for deposition of the piezo electric crystal layer 62. Therefore, the thickness of the lower part electrode 61 is 150nm or less suitably. Mo is suitably deposited by sputtering. Thereby, Mo layer 2.0nm or less is obtained for RMS fluctuation of surface height.

[0042] Since it finishes depositing the lower part electrode 61, the piezo electric crystal layer 62 is deposited. The suitable ingredient of the piezo electric crystal layer 62 is AlN or ZnO, and also deposits this by sputtering. With the suitable operation gestalt of this invention, the thickness of the piezo electric crystal layer 62 is from 0.1 to 10 micrometers (preferably 0.5 micrometers - 2 micrometers). As for the top face of the piezo electric crystal layer 62, it is desirable that RMS fluctuation of height is 0.50% or less of piezo electric crystal thickness (average), and it is desirable that external waviness height is 5.0% or less of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0043] The upper part electrode 63 is made to deposit finally. The upper part electrode 63 consists of the same ingredients as the lower part electrode 61, and consists of Mo suitably.

[0044] It consists of the lower part electrode 61, a piezo electric crystal layer 62, and an upper part electrode 63 as mentioned above, and it puts by etching with the dilution H<sub>2</sub> O:HF solution from the part of the sacrifice layer 55 which was put and has been exposed, without [ the edge of the structure 60, or ] putting and being covered with the structure 60 as it is shown in drawing 7 , after putting and forming the structure 60 by which patterning was carried out to the necessary configuration, and PSG of the lower part of the structure 60 is also removed. Thereby, the \*\*\*\* clip lump structure 60 remains on a hollow 52 cross-linking this morning as shown in drawing 8 . That is, it puts, and the edge is supported by the substrate so that the structure 60 may straddle the hollow 52 formed on the surface of the substrate.

[0045] In FBAR obtained as mentioned above, RMS fluctuation of the height of the inferior surface of tongue of the lower part electrode 61 formed on it according to the front face (RMS fluctuation of height is 1.0nm or less) of the sacrifice layer 55 is 2.0nm or less, and since this lower part electrode 61 has still thinner thickness, the RMS fluctuation of height of a top face is 2.0nm or less. And RMS fluctuation of the height of the inferior surface of tongue of the piezo electric crystal layer 62 formed on it according to the top face of this lower part electrode 61 is 2.0nm or less. In spite of not equipping the smooth top face of the lower part electrode 61 with the crystal structure used as the growth nucleus of the piezo electric crystal layer 62, it gives the piezo-electric property which formed the c-axis orientation of very regular structure in the piezo electric crystal layer 62 formed, and was excellent in it.

[0046] Drawing 9 - drawing 10 are the typical sectional views for explaining the manufacture approach of FBAR which is a sound resonator by this invention, and still more nearly another operation gestalt of FBAR acquired by that cause. With this operation gestalt, after a process which was explained about the above-mentioned drawing 3 -5, the insulator layer 54 is formed as shown in drawing 9 . The insulator layer 54 is SiO<sub>2</sub>. It is the film and can deposit with a CVD method. The thickness of this insulator layer 54 is 50-1000nm, and the RMS fluctuation of height of that top face is 2.0nm or less. It puts by performing a process which was moreover explained about above-mentioned drawing 6 , and

the structure 60 is formed. Subsequently, a process which was explained about above-mentioned drawing 7 and drawing 8 is performed, and FBAR is obtained as shown in drawing 10. In that case, in order to carry out etching removal of the sacrifice layer 55, it puts, and it is the part of the edge of the structure 60, or the insulator layer 54 which puts and is not covered with the structure 60, opening of proper magnitude is formed in the upper part of the sacrifice layer 55, and an etching reagent is supplied from this opening.

[0047] Since it puts, and the insulator layer 54 is arranged between the structure 60 and a cavity 52, it puts and the oscillating section is constituted also including the insulator layer 54 in addition to the structure 60, the reinforcement of FBAR of this operation gestalt of this oscillating section improves.

[0048] The above operation gestalt is related with FBAR. However, probably, it will be clear to this contractor from the above explanation that it is possible to produce SBAR using the same process. In SBAR, another piezo electric crystal layer (2nd piezo electric crystal layer) and the electrode on it (2nd upper part electrode) must be deposited. Since the 2nd piezo electric crystal layer is formed on the upper part electrode of "FBAR" as shown with the above-mentioned operation gestalt, it is desirable to give the suitable front face (for the 1st to be the same as that of the front face of the lower part electrode of a piezo electric crystal layer) for also maintaining the thickness of this upper part electrode to 150nm or less, and depositing the 2nd piezo electric crystal layer.

[0049] Drawing 11 is a typical sectional view for explaining the manufacture approach of FBAR which is a sound resonator by this invention, and still more nearly another operation gestalt of FBAR acquired by that cause, and drawing 12 is the top view of the upper part electrode. With this operation gestalt, it differs from the operation gestalt which explained only the configuration of the upper part electrode 63 about the above-mentioned drawing 3 -8.

[0050] With this operation gestalt, the upper part electrode 63 is located in the perimeter of a center section 631 and this center section in the shape of a frame, and it has the periphery section 632 of thickness from a center section 631. The boundary of a center section 631 and the periphery section 632 is formed of the level difference.

[0051] As for the thickness of the periphery section 632, it is desirable that they are 1.1 or more times of the thickness of a center section 631. Moreover, as for thickness fluctuation of a center section 631, it is desirable that it is 2% or less of the thickness (average) of this center section. The dimension a of the upper part electrode 63 is 100 micrometers. The periphery section 632 is located in within the limits from the rim of the upper part electrode 63 to distance b, and distance b is a value to 40 micrometers.

[0052] It can prevent that control oscillating generating of the longitudinal direction in the upper part electrode periphery section, and an excessive spurious vibration laps with vibration of a sound resonator by considering as such upper part electrode structure. Consequently, the resonance characteristic and the quality factor of a sound resonator and a filter are improved.

[0053] In order to obtain a still higher acoustical quality factor (Q value) with this operation gestalt, as for the external waviness height of the front face of the center section 631 of the upper part electrode 63, it is desirable to make it become 5.0% or less of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0054] Although the sacrifice layer which consisted of PSGs is used with the above-mentioned operation gestalt of this invention, other ingredients can be used for a sacrifice layer. For example, the glass of other gestalten like BPSG (Boron-Phosphor-Silicate-Glass: boron-phosphorus-silicon-glass) or spin glass can also be used. There are poly vinyl which can be deposited on an ingredient by spinning besides this, polypropylene, and plastics like polystyrene. Since the front face of these deposited ingredients is not atomically smooth, also when it constitutes a sacrifice layer from these ingredients, surface smoothing by polish is important like [ in the case of a PSG sacrifice layer ]. These sacrifice layers are organic removal material or O<sub>2</sub>. It can also remove by plasma etching.

[0055]

[Example] Hereafter, an example explains this invention to a detail further.

[0056] As it was indicated by [example 1] drawing 3 - drawing 8, the thin film sound resonator was formed.

[0057] First, the front face of the Si wafer 51 was covered with the Pt/Ti protective coat, and it became depressed about this protective coat by etching, it formed in the shape of [ for formation / predetermined ] a pattern, and the mask for etching of the Si wafer 51 was formed. Then, wet etching was performed using the Pt/Ti pattern mask, and the hollow with a width of face of 150 micrometers was formed in a depth of 20 micrometers as shown in drawing 3. This etching was carried out at 70 degrees C of solution temperature using 5% of the weight of the KOH water solution.

[0058] Then, it is SiO<sub>2</sub> with a thickness of 1 micrometer to the front face of the Si wafer 51 by thermal oxidation as a Pt/Ti pattern mask is removed and it is shown in drawing 3. A layer 53 is formed and they are the Si wafer 51 and SiO<sub>2</sub>. The structure where became depressed on the substrate which consists of a layer 53, and 52 was formed was acquired.

[0059] Subsequently, SiO<sub>2</sub> in which the hollow 52 is formed as shown in drawing 4 The PSG sacrifice layer 55 with a

thickness of 30 micrometers was made to deposit on a layer 53. This deposition is 450 degrees C and was performed with the heat CVD method using the silane and the phosphine (PH<sub>3</sub>) as a raw material.

[0060] Subsequently, as it was shown in drawing 5, the front face of the PSG sacrifice layer 55 was ground, and the PSG sacrifice layer 55 of fields other than hollow 52 was removed. Then, the front face of the PSG sacrifice layer 55 which remains in a hollow 52 is carefully ground using the slurry containing a detailed polish particle, and the surface roughness was made for RMS fluctuation of height to be set to 1.0nm.

[0061] Subsequently, the lower electrode 61 which consists of Mo film with a dimension of 200x200 micrometers by 100nm in thickness was formed on the PSG sacrifice layer 55 as shown in drawing 6. Formation of Mo film was performed by the DC magnetron sputtering method. And patterning of Mo film was performed by the lift-off method. When the surface roughness of formed Mo film was measured, RMS fluctuation of height was 1.5nm.

[0062] Subsequently, the piezo electric crystal layer 62 of 1.0-micrometer thickness which consists of ZnO film was formed on the lower electrode 61. Formation of the ZnO film uses ZnO as a sputtering target, and is Ar and O<sub>2</sub> as sputtering gas. Using mixed gas, sputtering gas \*\* was set to 5mTorr(s), and it carried out by the RF magnetron sputtering method at the substrate temperature of 400 degrees C. When the surface roughness of the formed ZnO film was measured, RMS fluctuation of height was 0.5% or less of 4.0nm of thickness. Patterning of the ZnO film was carried out to the predetermined configuration by wet etching, and the piezo electric crystal layer 62 was obtained.

[0063] Subsequently, the up electrode 63 which consists of Mo film with a thickness of 100nm was formed on the piezo electric crystal layer 62. Formation and patterning of Mo film were made to be the same as that of the time of formation of the lower electrode 61. When it surged by measurement die length of 150 micrometers, height was measured and the maximum of external waviness height with a measurement die length of 100 micrometers was investigated about the front face of the up electrode 63, it was 5.0% or less of 30nm of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0064] Subsequently, the PSG sacrifice layer 55 was removed by etching with a dilution H<sub>2</sub> O:HF solution. Thereby, on the hollow 52, Mo/ZnO/Mo put and the structure 60 formed the \*\*\*\* gestalt cross-linking this morning as shown in drawing 8.

[0065] When thin film XRD analysis of the obtained piezo electric crystal layer 62 was performed, as a result of a membranous c-axis's being the direction of 88.8 degrees and investigating the amount of preferred orientation with a rocking curve to a film surface, the full width at half maximum is 2.4 degrees, and showed the good stacking tendency.

[0066] While measuring the impedance characteristic between the up electrode 63 and the lower electrode 61 about the sound resonator obtained as mentioned above using a microwave prober, resonance frequency  $f_r$  and antiresonant frequency  $f_a$  are measured, and it is based on such measured value, and it is an electromechanical coupling coefficient  $kt_2$ . It computed. Electromechanical coupling coefficient  $kt_2$  It was 5.5% and the acoustical quality factor was 700.

[0067] The sound resonator was produced like the example 1 except having ground so that RMS fluctuation of height might be set to 30nm in the surface roughness of the [example 1 of comparison] PSG sacrifice layer 55.

[0068] When the surface roughness of Mo film of the lower electrode 61 was measured, RMS fluctuation of height was 34nm. Moreover, when the surface roughness of the ZnO film was measured, RMS fluctuation of height was 37nm exceeding 0.5% of thickness. When it surged by measurement die length of 150 micrometers, height was measured and the maximum of external waviness height with a measurement die length of 100 micrometers was investigated about the front face of the up electrode 63, it was 110nm exceeding 5.0% of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0069] When thin film XRD analysis of the obtained piezo electric crystal layer 62 was performed, as a result of the membranous c-axis's having grown to be the include angle of 87.0 degrees to a film surface and a rocking curve's investigating the amount of preferred orientation, the full width at half maximum was 6.8 degrees.

[0070] Electromechanical coupling coefficient  $kt_2$  of the sound resonator obtained as mentioned above It was 3.4% and the acoustical quality factor was 430.

[0071] The sound resonator was produced like the example 1 except having used what replaces with the ZnO film as a [example 2] piezo electric crystal layer 62, and consists of AlN film. That is, the piezo electric crystal layer 62 of 1.2-micrometer thickness which consists of AlN film was formed on the lower electrode 61. Formation of the AlN film uses aluminum as a sputtering target, and is Ar and N<sub>2</sub> as sputtering gas. It carried out by the RF magnetron sputtering method at the substrate temperature of 400 degrees C using mixed gas. When the surface roughness of the formed AlN film was measured, RMS fluctuation of height was 0.5% or less of 2.4nm of thickness. When it surged by measurement die length of 150 micrometers, height was measured and the maximum of external waviness height with a measurement die length of 100 micrometers was investigated about the front face of the up electrode 63, it was 5.0% or less of 33nm of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0072] When thin film XRD analysis of the obtained piezo electric crystal layer 62 was performed, as a result of a membranous c-axis's being the direction of 88.6 degrees and investigating the amount of preferred orientation with a



rocking curve to a film surface, the full width at half maximum is 2.8 degrees, and showed the good stacking tendency.

[0073] Electromechanical coupling coefficient  $kt^2$  of the sound resonator obtained as mentioned above It was 6.6% and the acoustical quality factor was 910.

[0074] The sound resonator was produced like the example 2 except having ground so that RMS fluctuation of height might be set to 33nm in the surface roughness of the [example 2 of comparison] PSG sacrifice layer 55.

[0075] When the surface roughness of Mo film of the lower electrode 61 was measured, RMS fluctuation of height was 36nm. Moreover, when the surface roughness of the AlN film was measured, RMS fluctuation of height was 40nm exceeding 0.5% of thickness. When it surged by measurement die length of 150 micrometers, height was measured and the maximum of external waviness height with a measurement die length of 100 micrometers was investigated about the front face of the up electrode 63, it was 150nm exceeding 5.0% of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0076] When thin film XRD analysis of the obtained piezo electric crystal layer 62 was performed, as a result of the membranous c-axis's having grown to be the include angle of 86.5 degrees to a film surface and a rocking curve's investigating the amount of preferred orientation, the full width at half maximum was 7.0 degrees.

[0077] Electromechanical coupling coefficient  $kt^2$  of the sound resonator obtained as mentioned above It was 3.8% and the acoustical quality factor was 470.

[0078] As it was indicated by [example 3] drawing 3 - drawing 5 , drawing 9 - drawing 10 , the thin film sound resonator was formed.

[0079] First, the structure shown in drawing 5 was obtained like the example 1. However, the front face of the PSG sacrifice layer 55 which remains in a hollow 52 is ground using the slurry containing a detailed polish particle, and the surface roughness was made for RMS fluctuation of height to be set to 0.6nm.

[0080] Subsequently, it is SiO<sub>2</sub> with a thickness of 500nm by the CVD method on a substrate so that the front face of the PSG sacrifice layer 55 may also be covered as shown in drawing 9 . The insulator layer 54 which consists of film was formed. When the surface roughness of the formed insulator layer 54 was measured, RMS fluctuation of height was 1.5nm.

[0081] Subsequently, on the insulator layer 54, like the example 1, the lower electrode 61 which consists of Mo film was formed as shown at drawing 10 . When the surface roughness of formed Mo film was measured, RMS fluctuation of height was 1.8nm.

[0082] Subsequently, the piezo electric crystal layer 62 which consists of ZnO film was formed on the lower electrode 61 like the example 1. When the surface roughness of the formed ZnO film was measured, RMS fluctuation of height was 0.5% or less of 4.5nm of thickness.

[0083] Subsequently, the up electrode 63 which consists of Mo film was formed on the piezo electric crystal layer 62 like the example 1. When it surged by measurement die length of 150 micrometers, height was measured and the maximum of external waviness height with a measurement die length of 100 micrometers was investigated about the front face of the up electrode 63, it was 5.0% or less of 27nm of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0084] Subsequently, opening of the Bahia hall which reaches the PSG sacrifice layer 55 was carried out to the part which has exposed the insulator layer 54, and the PSG sacrifice layer 55 was removed by etching with a dilution H<sub>2</sub>O:HF solution through this opening. Thereby, on the hollow 52, the insulator layer 54 and Mo/ZnO/Mo put and the layered product with the structure 60 formed the \*\*\*\* gestalt cross-linking this morning as shown in drawing 10 .

[0085] When thin film XRD analysis of the obtained piezo electric crystal layer 62 was performed, as a result of a membranous c-axis's being the direction of 88.8 degrees and investigating the amount of preferred orientation with a rocking curve to a film surface, the full width at half maximum is 2.3 degrees, and showed the good stacking tendency.

[0086] While measuring the impedance characteristic between the up electrode 63 and the lower electrode 61 about the sound resonator obtained as mentioned above using a microwave prober, resonance frequency  $f_r$  and antiresonant frequency  $f_a$  are measured, and it is based on such measured value, and it is an electromechanical coupling coefficient  $kt^2$ . It computed. Electromechanical coupling coefficient  $kt^2$  It was 5.4% and the acoustical quality factor was 680.

[0087] The sound resonator was produced like the example 3 except having ground so that RMS fluctuation of height might be set to 32nm in the surface roughness of the [example 3 of comparison] PSG sacrifice layer 55.

[0088] SiO<sub>2</sub> of the insulator layer 54 When membranous surface roughness was measured, RMS fluctuation of height was 36nm. Moreover, when the surface roughness of Mo film of the lower electrode 61 was measured, RMS fluctuation of height was 38nm. Moreover, when the surface roughness of the ZnO film was measured, RMS fluctuation of height was 39nm exceeding 0.5% of thickness. When it surged by measurement die length of 150 micrometers, height was measured and the maximum of external waviness height with a measurement die length of 100 micrometers was investigated about the front face of the up electrode 63, it was 92nm exceeding 5.0% of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0089] When thin film XRD analysis of the obtained piezo electric crystal layer 62 was performed, as a result of the membranous c-axis's having grown to be the include angle of 86.5 degrees to a film surface and a rocking curve's investigating the amount of preferred orientation, the full width at half maximum was 6.7 degrees.

[0090] Electromechanical coupling coefficient  $kt^2$  of the sound resonator obtained as mentioned above It was 2.9% and the acoustical quality factor was 390.

[0091] The sound resonator was produced like the example 2 except formation of the [example 4] up electrode 63. That is, after forming Mo film with a thickness of 100nm on the piezo electric crystal layer 62 like an example 2, in the field with a width of face of 30 micrometers, Mo film with a thickness of 20nm was further formed by the lift-off method from the rim, and the up electrode 63 as shown in drawing 11 was formed.

[0092] When it surged by measurement die length of 100 micrometers and height was investigated about the front face of the center section 631 of the up electrode 63, it was 5.0% or less of 34nm of the thickness of the piezo electric crystal layer 62.

[0093] Electromechanical coupling coefficient  $kt^2$  of the sound resonator obtained as mentioned above It was 7.0% and the acoustical quality factor was 960.

[0094]

[Table 1]

	F B A R構成											音響共振器としての特性	
	犠牲層 表面粗さ RMS (nm)	絶縁体層		下部電極層		圧電体薄膜				上部電極層		電気機械 結合係数 kt <sup>2</sup> (%)	音響的 品質係数 Q
		材質	表面粗さ RMS (nm)	材質	表面粗さ RMS (nm)	材質	表面粗さ RMS (nm)	c軸方向 (deg)	ロックオン FWHM (deg)	材質	うねり高さ (nm)		
実施例 1	1.0	なし	—	Mo	1.5	ZnO	4.0	89.2	2.1	Mo	34	6.0	770
実施例 2	1.0	なし	—	Mo	1.5	AlN	2.4	89.0	2.5	Mo	38	6.9	960
実施例 3	0.6	SiO <sub>2</sub>	1.5	Mo	1.8	ZnO	4.5	89.2	2.0	Mo	30	5.7	730
実施例 4	1.0	なし	—	Mo	1.5	AlN	2.6	89.7	2.5	Mo	40	7.5	1000
比較例 1	30	なし	—	Mo	34	ZnO	37	87.0	6.5	Mo	220	3.8	460
比較例 2	33	なし	—	Mo	36	AlN	40	85.5	7.0	Mo	280	4.0	500
比較例 3	32	SiO <sub>2</sub>	36	Mo	38	ZnO	39	85.6	6.7	Mo	185	3.3	420

[0095]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, RMS fluctuation of height sees on the atomic level of 1.0nm or less, and forms the 1st electrode through a direct or insulator layer on a smooth sacrifice layer front face. Since the front face of this 1st electrode is made for RMS fluctuation of height to be set to 2.0nm or less and a piezo electric crystal layer is formed on it The crystallinity of the 1st electrode improves, the stacking tendency and crystal quality of a piezo electric crystal layer are remarkably improved according to this, and, thereby, the highly efficient thin film sound resonator excellent in the electromechanical coupling coefficient and the acoustical quality factor is offered.

[Translation done.]

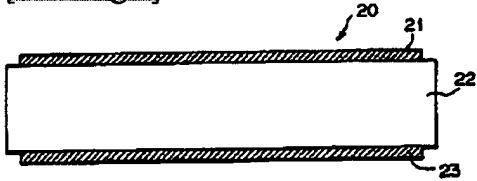
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

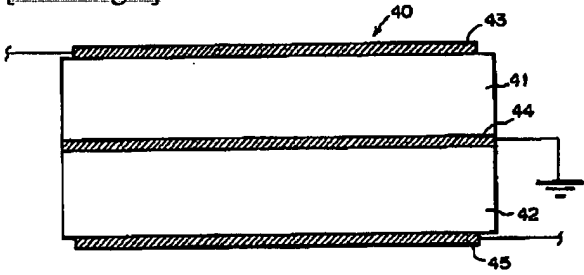
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

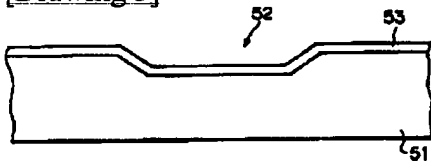
[Drawing 1]



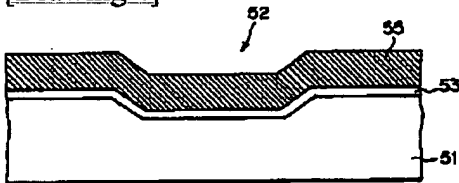
[Drawing 2]



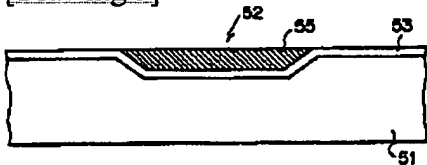
[Drawing 3]



[Drawing 4]



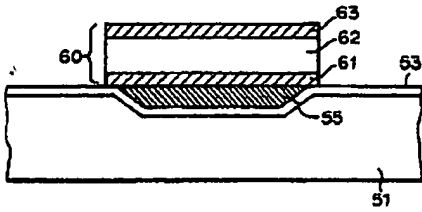
[Drawing 5]



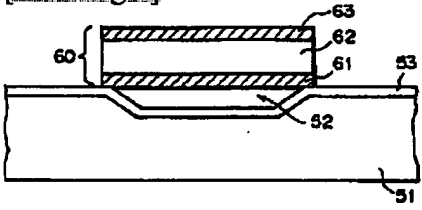
[Drawing 6]



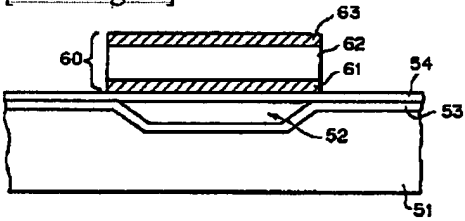




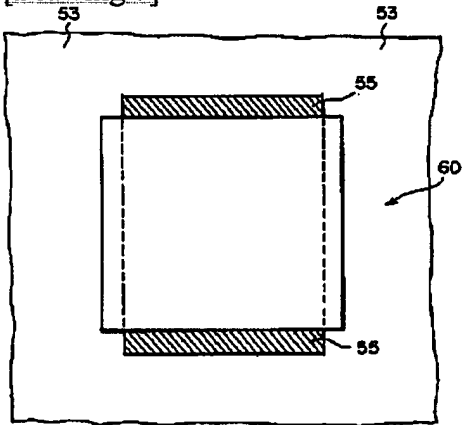
[Drawing 8]



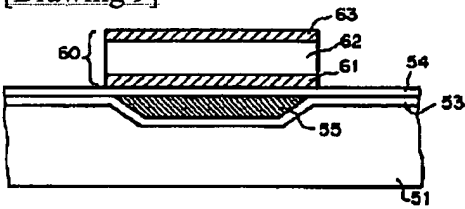
[Drawing 10]



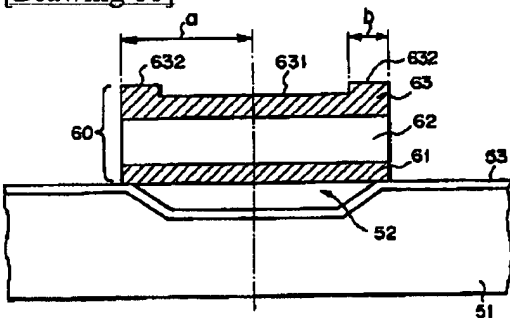
[Drawing 7]



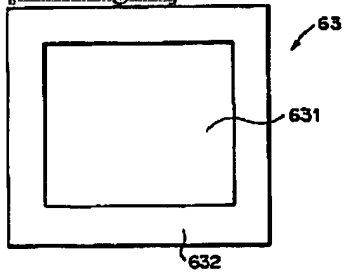
[Drawing 9]



[Drawing 11]



[Drawing 12]



---

[Translation done.]